

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ ДЛЯ СВЕТОДИОДНЫХ ЛАМП С ИЗЛУЧАТЕЛЯМИ ЛЕНТОЧНОЙ СТРУКТУРЫ

Гинтинг Рутга¹, Иванов² А. В., Семенов³ С. М., Чертов³ С. А.

1 – Индонезия, Джакарта, 2 – НИИ светодиодных технологий, ТУСУР, Россия, Томск,

3 – Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия

Проблема высокого энергопотребления становится все более актуальной. Только на освещение уходит порядка 30-35% всей вырабатываемой электроэнергии, а в масштабах крупных городов эта величина в полтора-два раза больше. [1]

Светодиодное освещение одно из перспективных направлений технологий искусственного освещения, основанное на использовании светодиодов в качестве источника света. При одинаковом уровне излучения линейка светодиодов потребляет мощность в два и более раза меньшую, чем лампа накаливания, что позволяет значительно снизить затраты денежных средств на электроэнергию. Все эти качества определяют предпочтительное использование светодиодных источников излучения в современных устройствах. Зависимость потребляемой мощности ламп накаливания, люминесцентных и светодиодных от излучаемого ими светового потока представлена в табл. 1 [2].

Таблица 1. Сравнение источников освещения

Лампа накаливания, потребляемая мощность (Вт)	Компактная люминесцентная лампа, потребляемая мощность (Вт)	Светодиодная лампа, потребляемая мощность (Вт)	Световой поток, лм
40	10-13	4-5	400
60	15-16	8-10	700
75	18-20	10-12	900
100	25-30	12-15	1200
150	40-50	18-20	1800

Проанализировав данные табл.1, можно отметить, что переход на более экономичные светодиодные светильники позволяет снизить энергопотребление в 10 раз по сравнению с лампами накаливания и в 2 раза по сравнению с люминесцентными лампами. Тем не менее, несмотря на то, что классическая лампа накаливания по энергетическим затратам является наиболее расточительным источником света, она еще продолжительное время будет удерживать прочные позиции в устройствах освещения, благодаря целому ряду неоспоримых преимуществ [3].

Например, таких как:

- Дешевизна лампы.
- Небольшие габариты, что позволяет конструировать удобные и оригинальные светильники.
- Повсеместная распространенность. Цоколь любой электрической лампы подходит к соответствующему патрону в широком спектре технических установок.
- Постоянная готовность к работе и моментальность включения. Время прогрева, в отличие от люминесцентной лампы, минимально.
- Независимость от внешних климатических условий. В лампе отсутствуют электронные компоненты, чувствительные к изменениям окружающей среды.
- Хорошо налаженное массовое производство.

Объединить преимущества классических ламп накаливания и светодиодных излучателей позволяют источники света, выполненные по технологии Filament LED. Модель такого источника света представлена на рис. 1.

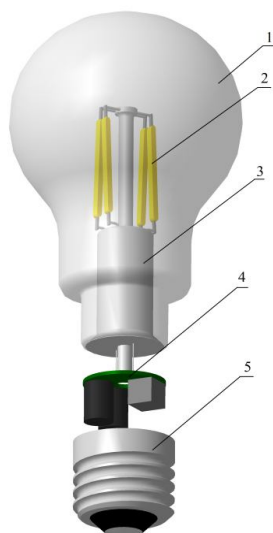


Рис. 1. Трехмерная модель источника света по технологии Filament LED

Основными компонентами этой лампы являются: 1 – колба; 2 – излучающий элемент; 3 – опорная конструкция; 4 – устройство питания (драйвер); 5 – цоколь.

По внешнему виду и характеристикам излучения они настолько близки к классическим электролампам, что их с полным правом можно назвать светодиодными лампами накаливания. [4] Самое главное отличие осветительных устройств LED Filament от классических светодиодных ламп – это диаграмма светового потока, практически полностью аналогичная диаграмме лампы накаливания. То есть светодиодные излучатели светят практически равномерно во все стороны, так же как и обычные. При этом эффективность осветительных устройств LED Filament несколько выше, а рабочая температура корпуса – примерно на 10 градусов ниже. Коэффициент пульсаций у большинства ламп этого типа составляет менее 0,5% – т.е. приблизительно равен нулю. Использование различных вариантов люминофоров в нитевидных светодиодных излучателях позволяет выпускать устройства освещения с различной цветовой температурой (отенок белого света по шкале "теплый-холодный") – от 2700 К (теплый, стандартная лампочка накаливания) до 6500 К (холодный, дневной свет).

Светодиоды имеют нелинейную вольт-амперную характеристику [5] Это означает, что при изменении напряжения на светодиоде, ток изменяется непропорционально. По мере увеличения напряжения, сначала ток растёт очень медленно, источник освещения при этом не светится. Затем, при достижении порогового напряжения, светодиод начинает светиться, и ток возрастает очень быстро. При дальнейшем увеличении напряжения, ток резко возрастает, и лампа выходит из строя.

Поэтому для нормального функционирования светильника, его нужно обеспечить стабилизатором тока, который будет соответствовать необходимым параметрам и требованиям. Данный стабилизатор, являющийся важнейшей частью полупроводникового светильника, во многом определяет функциональные, светотехнические показатели и надежность осветительного устройства в целом.

Он устанавливает заданный ток через светодиод вне зависимости от приложенного к схеме напряжения. При увеличении напряжения на схеме выше порогового уровня, ток достигает установленного значения и далее не изменяется. При дальнейшем увеличении общего напряжения, напряжение на излучателе перестаёт меняться, а напряжение на стабилизаторе растёт.

В качестве стабилизатора тока рассматриваются два варианта: линейный и импульсный. Линейный стабилизатор (рис.2) является делителем напряжения постоянного тока.

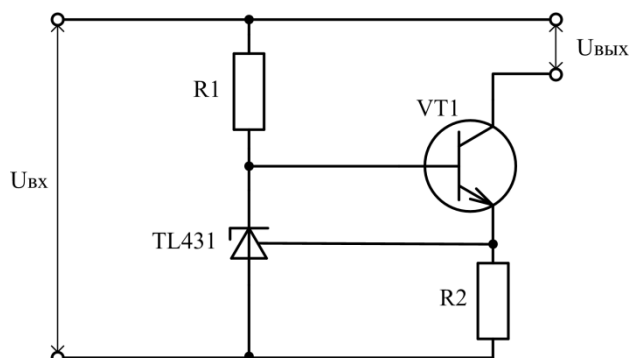


Рис. 2. Схема линейного стабилизатора тока

Суть его работы заключается в том, что на вход подается нестабильное напряжение ($U_{вх}$), а с нижнего контакта снимается фиксированное выходное напряжение ($U_{вых}$). Принципиально такого рода стабилизация осуществляется благодаря изменению сопротивления одного из плеч делителя напряжения, в роли которого выступает биполярный транзистор (VT_1). Эта система регулирует сопротивление в динамическом заданном диапазоне для стабилизации выходного напряжения.

При достаточно большом отношении входного и выходного напряжений значительно сокращается КПД стабилизатора напряжения, так как энергия рассеивается в виде тепла на транзисторе стабилизатора. По этим причинам в рассматриваемом устройстве особое внимание необходимо уделить вопросам охлаждения, тем самым увеличивая срок службы и предотвращая регулирующий элемент стабилизатора от перегрева.

Для получения стабилизированного тока, с возможностью его регулирования, используется стабилизатор на основе микросхемы TL431 (аналоги: KP142EH19A, K1156EP5x). Основное преимущество данной схемы состоит в возможности устанавливать любое значение стабилизируемого тока.

Наиболее сложной в реализации является схема импульсного стабилизатора, но при этом она может обеспечить стабильную работу в широком диапазоне напряжений на входе и в нагрузке. Так как требования по электробезопасности обеспечиваются конструкцией самой лампы, а напряжение в нагрузке ниже напряжения сети, то предпочтительна схема импульсного последовательного стабилизатора понижающего типа. [6] Схема данного стабилизатора приведена на рис. 3.

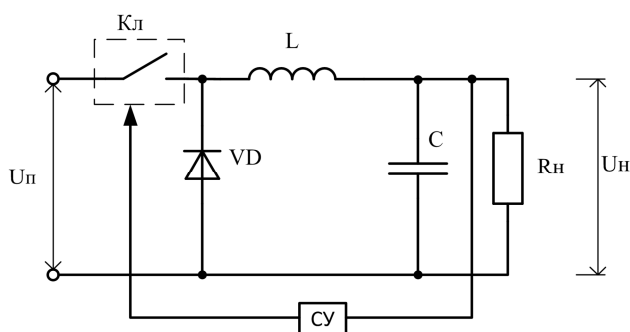


Рис. 3. Схема импульсного последовательного стабилизатора понижающего типа

В качестве микросхемы управления используется микросхема BP2831 со встроенным силовым ключом Кл (рис. 3). Вариант применения такой схемы приведен на рис 4.

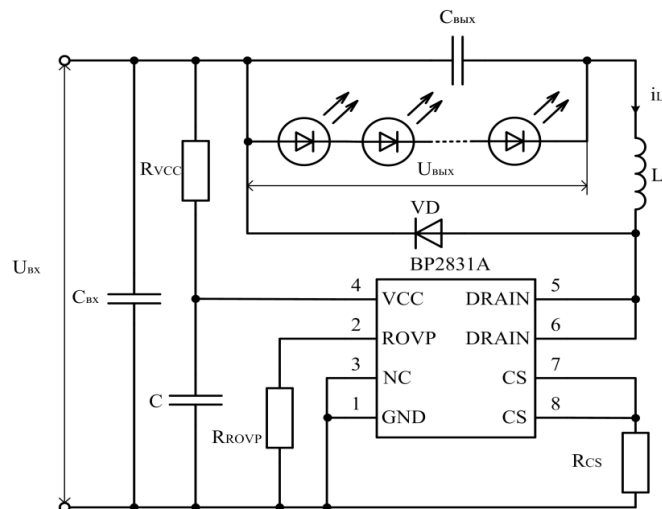


Рис. 4. Схема применения микросхемы BP2831

Импульсный стабилизатор тока работает следующим образом. Входное напряжение $U_{вх}$ подается на входной фильтрующий конденсатор $C_{вх}$. Ключевой элемент (транзистор), входящий в состав микросхемы BP2831, осуществляет высокочастотную коммутацию тока. Работа схемы складывается из двух фаз: накачки энергии и разряда.

Фаза накачки протекает, когда транзистор открыт. Ток i_L проходит через дроссель L к нагрузке, шунтированной конденсатором $C_{вых}$. Накопление энергии происходит как в дросселе, так и в конденсаторе.

После того, как транзистор переходит в состояние отсечки, наступает фаза разряда. Поскольку любой индуктивный элемент стремится воспрепятствовать изменению направления и величины тока, протекающего через его обмотку, в данном случае ток дросселя i_L мгновенно уменьшиться до нуля не может, и он замыкается через разрядный диод VD на нагрузку.

Для сравнения источников питания произведем расчет коэффициента полезного действия. [6]

Для источника питания с линейным стабилизатором тока.

Примем минимальное напряжение на нагрузке $U_n = 75\text{В}$. Номинальное напряжение сети $U_{ном} = 220\text{В}$. Рабочая частота $f_{раб} = 50\text{кГц}$. Ток нагрузки $I_n = 20\text{мА}$. Сопротивление и индуктивность схемы соответственно $R_{сх} = 14\text{Ом}$ и $L = 15\text{мГн}$.

$$\eta = \frac{U_i \cdot I_i}{U_i \cdot I_i + I_i \cdot (U_{ао} - U_i)} = \frac{75 \cdot 0.02}{75 \cdot 0.02 + 0.02 \cdot (310.2 - 75)} = 0.24,$$

где U_n, I_n – соответственно напряжение и ток на нагрузке; $U_{вх}$ – входное напряжение, $U_{вх} = \sqrt{2} \cdot U_{ном} = \sqrt{2} \cdot 220 = 310.2\text{В}$.

Для источника питания с импульсным стабилизатором тока.

$$\eta = \frac{U_n \cdot I_n}{U_n \cdot I_n + \kappa_{зап} \cdot I_{max} \cdot R_{сх}} = \frac{75 \cdot 0.02}{75 \cdot 0.02 + 0.24 \cdot 0.058 \cdot 14} = 0.88,$$

где $\kappa_{зап}$ – коэффициент заполнения, $\kappa_{зап} = \frac{U_n}{U_{вх}} = \frac{75}{310.2} = 0.24$; I_{max} – максимальный ток,

$$I_{\max} = U_{\text{вх}} \cdot \left(\frac{\kappa_{\text{зап}}}{R_{\text{н}}} + \frac{\kappa_{\text{зап}}(1 - \kappa_{\text{зап}})}{2 \cdot f_{\text{раб}} \cdot L} \right) = 310.2 \cdot \left(\frac{0.24}{3750} + \frac{0.24(1 - 0.24)}{2 \cdot 50000 \cdot 15 \cdot 10^{-3}} \right) = 0.058 \text{ А}$$

$$R_{\text{н}} - \text{сопротивление нагрузки, } R_{\text{н}} = \frac{U_{\text{н}}}{I_{\text{н}}} = \frac{75}{0.02} = 3750 \text{ Ом}.$$

Далее расчёт КПД производится при напряжениях на нагрузке равных 150, 225 и 300В. Напряжение в сети может изменяться в пределах $220^{+10\%}_{-15\%}$. Поэтому необходим расчет КПД при минимальном напряжении питающей сети $U_{\min \text{ пит}} = 187\text{В}$.

При этом минимальное напряжение на выходе стабилизатора будет равно

$$U_{\min \text{ стаб}} = U_{\min \text{ пит}} \cdot \sqrt{2} - U_{\text{стаб}} = 187 \cdot \sqrt{2} - 2 = 262 \text{ В}.$$

Результаты расчетов сведены в табл. 2.

Таблица 2. Сравнение КПД источников питания

	Линейный		Импульсный	
	$U_{\text{н}}, \text{ В}$	$\eta, \%$	$U_{\text{н}}, \text{ В}$	$\eta, \%$
Ток нагрузки, $I_{\text{н}} = 20 \text{ мА}$	75	24	75	89
	150	48	150	85
	225	73	225	86
	262	85	262	87
	300	97	300	94

Коэффициент полезного действия линейного стабилизатора тока, в отличие от импульсного, изменяется весьма значительно. Из этого можно сделать вывод о том, что при правильном выборе напряжения, путем изменения числа линеек светодиодов и способа их подключения, КПД линейного и импульсного стабилизаторов тока приблизительно равны, что делает целесообразным применение линейного стабилизатора, так как его основными преимуществами являются: простота реализации, высокая надежность, низкая стоимость, отсутствие высокочастотных пульсаций выходного тока, электромагнитная совместимость.

По результатам исследования были изготовлены два устройства питания для светодиодной лампы. Испытания данных источников показали, что их КПД приблизительно равны, а у импульсного источника питания в выходном токе присутствуют высокочастотные пульсации, отсутствующие у линейного. В настоящее время устройства питания, изготовленные совместно НИИ светодиодных технологий ТУСУР и Томским политехническим университетом проходят испытания на Томском заводе светотехники (бывший Томский электроламповый завод), входящим в состав ООО «Руслед».

ЛИТЕРАТУРА

1. Браун М. Источники питания. Расчёт и конструирование / М. Браун. Пер. с англ. – К.: МК – Пресс, 2007. – 288 с.
2. Технические характеристики и преимущества светодиодных ламп [Электронный ресурс]-режим доступа <http://indeolight.com/lampy-i-svetilniki/svetodiodnye/tehnicheskie-harakteristiki-svetodiodnyh-lamp.html>, свободный, дата обращения 01.08.2015.
3. Семёнов Б.Ю. Экономичное освещение для всех / Б.Ю. Семёнов. – М.: СОЛОН – Пресс, 2010. – 224 с.
4. Светодиодные лампы накаливания [Электронный ресурс] – режим доступа <http://www.rsci.ru/oled/news/236692.html>, свободный, дата обращения 01.08.2015.

5. Стабилизатор тока светодиода [Электронный ресурс] – режим доступа: http://led-displays.ru/stabilizator_toka.html, свободный, дата обращения 01.08.2015.
6. Семенов Б. Ю. Силовая электроника для любителей и профессионалов / Б.Ю. Семенов. – М.: Солон-Р, 2001. – 327 с.

ИЗМЕНЕНИЕ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА С НЕЗАВИСИМЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

Карпов А.С., Косенков Д. И., Буда В. С.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

На сегодняшний день двигатели постоянного тока с независимым возбуждением за счет большого числа достоинств являются достаточно распространенными при использовании в различных областях техники и устройствах автоматики. Зачастую появляется необходимость регулирования скорости вращения электродвигателя, за счет изменения напряжения питающей сети двигателя. [1]

Наиболее распространенным способом регулирования является регулирование за счет изменения сопротивления в цепи электродвигателя [2,3] (Рис. 1.).

Данный способ заключается в том, что в цепь якоря последовательно включают переменное сопротивление, его изменение приводит к изменению напряжения, что ведет за собой к изменению скорости вращения двигателя постоянного тока.

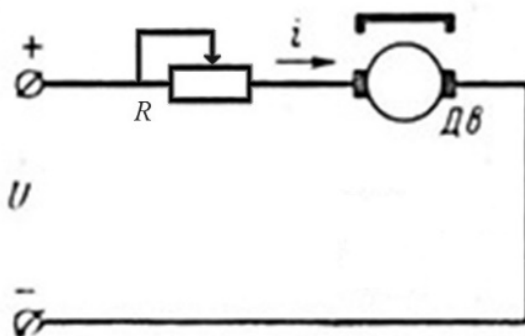


Рис. 1. Схема управления электродвигателем путем изменения сопротивления цепи.

Дв – двигатель постоянного тока с независимым возбуждением, R – переменное сопротивление

На первый взгляд, достоинством является простота конструкции, к недостаткам же можно отнести механический износ подвижных частей, выделение и потерю энергии на поверхности реостата. Эти достаточно крупные недостатки перекрывают положительные стороны данного метода и вследствие чего существует необходимость в более современном подходе управления, способного избавить систему от потерь и повысить надежность путем замены сопротивления на полупроводниковый, управляющий ключ [2,3] (Рис. 2.).